

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Off en l ungsschrift
⑩ DE 43 34 981 A 1

⑳ Aktenzeichen: P 43 34 981.1
㉑ Anmeldetag: 14. 10. 93
㉒ Offenlegungstag: 20. 4. 95

⑤① Int. Cl.⁶:
C 01 B 3/54
B 01 J 8/00
H 01 M 8/06
H 01 M 8/22
// B01J 23/42,23/46,
21/04,29/12,C07C
29/151

DE 43 34 981 A 1

⑦① Anmelder:
Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,
DE

⑦② Erfinder:
Plog, Carsten, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 88677
Markdorf, DE; Maunz, Werner, 88677 Markdorf, DE;
Stengel, Thomas, Dipl.-Ing. (FH), 88045
Friedrichshafen, DE; Andorf, Renato, Dipl.-Chem.
Dr.rer.nat., 88074 Meckenbeuren, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Reaktor zur katalytischen Entfernung von CO in H₂-reichem Gas

⑤⑦ Die Erfindung betrifft einen Reaktor zur selektiven katalyti-
schen Entfernung von CO in H₂-reichem Gas, wobei ein
edelmetallhaltiger selektiver CO-Oxidationskatalysator auf
einem metallischen oder keramischen Träger mit Kreuzka-
nalstruktur oder einer anderen turbulenz erzeugenden Struk-
tur aufgebracht ist.

DE 43 34 981 A 1

Die Erfindung betrifft einen Reaktor zur selektiven katalytischen Entfernung von CO in H₂-reichem Gas. Anwendung findet ein solcher Reaktor z. B. für die CO-Entfernung aus dem Abgas eines Reformers, um das Abgas als Reaktionsstoff für eine Brennstoffzelle aufzubereiten.

Die katalytische Oxidation von CO in H₂-reicher Atmosphäre wird in der Technik überwiegend in Festbettreaktoren an selektiven Edelmetallkontakten durch Eindüsen von Sauerstoff oder Luft durchgeführt. Der Katalysator liegt dabei in Form von Pellets oder Kugeln als Schüttung im Reaktionsrohr vor. Die von der Anmelderin durchgeführten Untersuchungen über die Anwendbarkeit der selektiven CO-Oxidation zur CO-Entfernung aus dem Abgas des CH₃OH-Reformers zeigen, daß die auftretenden Stoff- und Wärmetransportwiderstände zu einer verminderten Selektivität der CO-Oxidation und zu steilen Temperaturgradienten im Reaktor führen. Insgesamt bedeutet dies eine Absenkung der für die Brennstoffzelle zur Verfügung stehenden H₂-Menge und eine Erhöhung des CO-Niveaus an der Elektrode.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, einen Reaktor zu schaffen, mit dem eine erhöhte Selektivität der CO-Oxidation erreicht und gleichzeitig steile Temperaturgradienten im Reaktor vermieden werden.

Diese Aufgabe wird durch den Reaktor nach dem Patentanspruch 1 gelöst.

Erfindungsgemäß umfaßt der Reaktor eine Struktur, die durch Form und Aufbau eine turbulente Strömung erzeugt und den Wärmetransport begünstigt. Der edelmetallhaltige selektive CO-Oxidationskatalysator ist auf diese Struktur aufgebracht.

Stoff- und Wärmetransportwiderstände, wie sie in einem Festbettreaktor auftreten, werden durch die in der Struktur unter bestimmten Reaktionsbedingungen erzeugte turbulente Strömung abgebaut. Dadurch können höhere CO-Umsätze und einheitliche Temperaturverläufe im Reaktor erzielt werden. Darüberhinaus wird das dynamische Verhalten des Reaktors auf Änderungen der Betriebsbedingungen wesentlich verbessert.

Diese Struktur kann eine — insbesondere dreidimensionale — Trägerstruktur sein, die in den Reaktor eingebracht wird, z. B. eine metallische oder keramische Kreuzkanalstruktur. Möglich ist aber auch, die Reaktorwand selbst als turbulenz erzeugende und wärmetransportbegünstigende Struktur auszubilden. Ebenso können auch metallische oder keramische Schwamm- oder Faserstrukturen als Katalysatorträger dienen. Dabei muß die Porosität derartiger Strukturen so gewählt sein, daß der maximal zulässige Druckabfall nicht überschritten wird.

Der erfindungsgemäße Reaktor eignet sich insbesondere zur Anwendung unter nicht-stationären Bedingungen, wie sie beim Einsatz von Brennstoffzellen in Personen- und Nutzfahrzeugen vorherrschen. Sie können z. B. auch für Stromerzeugungsaggregate, bei denen Brennstoffzellen verwendet werden, genutzt werden.

Die selektive Oxidation an dem CO-Oxidationskatalysator läuft nach folgender Reaktion ab:



Abhängig von der Arbeitstemperaturen werden vorteilhaft die folgenden edelmetallhaltigen, selektiven CO-Oxidationskatalysatoren verwendet:

90° — 120°:

Pt/Al₂O₃, Ru/Al₂O₃

insbesondere: Pt(x ma-%)/Al₂O₃ mit $1 \leq x \leq 7$

Pt(5 ma-%)/Al₂O₃

5 Ru(0.44 ma-%)/Al₂O₃

140° — 160°

Pt/Al₂O₃, insbesondere: Pt(0.3 ma-%)/Al₂O₃

10 200° — 230°

Pt-Zeolith, insbesondere Pt(1 ma-%)NaY.

Kreuzkanalstrukturen

15 Die an sich bekannten Wärme- und Stofftransporteigenschaften metallischer Kreuzkanalstrukturen (siehe z. B. Firmenprospekt der Firma Sulzer) werden mit den selektiven Eigenschaften des edelmetallhaltigen Oxidationskatalysators kombiniert.

20 Kreuzkanalstrukturen bestehen aus gewelltem, gezackten oder in ähnlicher Weise geformten Metallfolien oder -schichten, die übereinandergelegt werden. Die Bereiche der "Wellenbäuche" beiderseits der Folien oder Schichten dienen dabei als Strömungskanäle. Die einzelnen Lagen werden derart aufeinandergelegt, daß die Strömungskanäle benachbarter Lagen einen Winkel zwischen 0° und 90°, vorzugsweise 90°, zueinander einschließen. Die Strömungskanäle sollten weiterhin zur Reaktorlängsachse einen Winkel zwischen 0° und 90°, vorzugsweise 45°, einnehmen.

Anhand des Pt/Al₂O₃-Katalysators wird im folgenden die Aufbringung des Katalysators auf den Metallwabenkörper mit Kreuzkanalstruktur beschrieben. Bei dem eingesetzten Pt(5 ma-%)/Al₂O₃ handelt es sich um einen Tränkkatalysator in Form von Pulver, das kommerziell erhältlich ist. Das Platin liegt elementar auf dem Aluminiumoxid, das als Trägermaterial dient, vor. Das Pulver hat im Anlieferungszustand eine mittlere Korngröße von ca. 60 µm, die durch einen Mahlvorgang (s. u.) auf 3 µm herabgesetzt wird. Die BET-Oberfläche des Katalysators beträgt ca. 140 m²/g.

Der Kreuzkanalträger wird zur Vorbehandlung mehrere Stunden unter Luftatmosphäre in einer Weise gegliht, daß die entstehende Struktur der Trägeroberfläche an die Dimension des Katalysatorpulvers angepaßt ist. Das Pt(5 ma-%)/Al₂O₃-Katalysatorpulver wird vor dem Beschichtungsvorgang in wäßriger Suspension gemahlen. Anschließend wird der Suspension Bindemittel zugegeben und mit Wasser aufgefüllt, so daß eine definierte Feststoffkonzentration vorliegt. Der vorbehandelte Metallträger wird dann in die Katalysatorsuspension getaucht. Nach dem Tauchvorgang werden die Kanäle des Trägers freigeblasen und der Träger getrocknet. Der Tauchvorgang mit anschließender Trocknung wird sooft wiederholt, bis die erforderliche Auftragsmasse erreicht ist. Abschließend wird der beschichtete Metallträger kalzinert.

Die Erfindung wird im folgenden mit Hilfe von Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm zu den experimentell erreichten CO-Ausgangskonzentrationen;

Fig. 2 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Reaktors;

Fig. 3 ein Metallwabenkörper mit Kreuzkanalstruktur;

Fig. 4 Ausbildung des Grenzfilms in gasdurchströmten Rohren mit glatter und strukturierter Rohrwand;

Fig. 5 Reaktor mit strukturierter Rohrwand.

Fig. 1 zeigt beispielhaft einen Vergleich der erzielten CO-Ausgangskonzentrationen (Ordinate) im Temperaturbereich von 80°C bis 130°C (Abszisse) in einem Festbettreaktor (kreisförmige Meßpunkte) und auf Metallträgern mit Kreuzkanalstruktur (Meßpunkte als Kreuz oder Quadrat) für jeweils unterschiedliche Reaktordurchmesser. Die Lagenhöhe der Kreuzkanalstruktur betrug 3.0 mm. Als Katalysator wurde Pt/Al₂O₃ in verschiedenen Pt-Konzentrationen verwendet. Die CO-Eingangskonzentration betrug jeweils 10 000 ppm. Das Eingangsgas wies neben dem CO und der Luft folgende Zusammensetzung auf: 10% H₂O, 1% CH₃OH, Rest H₂/CO₂ im Verhältnis 3 : 1. Die dargestellten Ergebnisse zeigen, daß bei gegebenem Reaktordurchmesser durch Verwendung der Metallträger niedrigere CO-Ausgangskonzentrationen als im Festbettreaktor erzielt werden. Beispielsweise kann bei Einsatz der bezeichneten Metallträger in einem Reaktor mit einem Durchmesser von 19 mm die CO-Konzentration im genannten Temperaturbereich von 10 000 ppm auf unter 40 ppm gesenkt werden.

In Fig. 2 ist das Verfahrensschema der selektiven CO-Oxidation mit dem erfindungsgemäßen Reaktor dargestellt. In diesem Beispiel wird dem Reaktor das Abgas aus einem CH₃OH-Reformer, das bis zu 1 Vol.-% CO enthalten kann, zugeführt. In dem Reaktor befinden sich die Metallwabenkörper mit Kreuzkanalstruktur, die mit dem edelmetallhaltigen selektiven Katalysator beschichtet sind. An dem Katalysator wird das CO zu CO₂ oxidiert. Die CO-Konzentration des aus dem Reaktor austretenden Gases beträgt weniger als 40 ppm.

Fig. 3 zeigt ein Beispiel für einen Kreuzkanalträger. Dargestellt sind drei gezackte bzw. gewellte Metallfolien L. Die eingebuchteten Volumenbereiche links und rechts einer Folie L bilden jeweils Strömungskanäle K. Die einzelnen Lagen werden derart übereinander angeordnet, daß die Strömungskanäle einen bestimmten Winkel zwischen 0° und 90° miteinander einschließen. In der Zeichnung beträgt dieser Winkel etwa 90°. Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit sind die einzelnen Bleche beabstandet voneinander gezeichnet, tatsächlich liegen sie jedoch unmittelbar aufeinander.

Fig. 4 zeigt die Ausbildung des Grenzfilms in einem gasdurchströmten Rohr mit glatter Rohrwand im Vergleich zu einem Rohr mit strukturierter Rohrwand. Im Fall der glatten Rohrwand bildet sich ein dicker Grenzfilm aus, der einen stark verminderten Stofftransport an die katalytisch beschichtete Reaktorwand zur Folge hat. Bei strukturierter Rohrwand bleibt der Grenzfilm durch die an der Wand erzeugte Strömungsturbulenz über die gesamte Länge des Reaktors gleichmäßig dünn und bewirkt somit einen guten Stoffübergang. Die für beide Fälle aufgetragenen Sherwoodzahlen, die als Maß für den Stoffübergang dienen, verdeutlichen die unterschiedlichen Stoffübergangseigenschaften beider Reaktoren.

Fig. 5 zeigt beispielhaft einen Reaktor mit strukturierter Rohrwand, auf der eine katalytische Beschichtung aufgebracht ist. Die gewellte Struktur der Wand verhindert die Ausbildung eines dicken Grenzfilms und erhöht dadurch den Stoffübergang an die katalytisch aktive Schicht.

lektiven CO-Oxidationskatalysator, dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktor eine Struktur umfaßt, die eine turbulente Strömung erzeugt und den Wärmetransport begünstigt, wobei die Struktur mit dem CO-Oxidationskatalysator beschichtet ist.

2. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur ein metallischer oder keramischer Träger mit Kreuzkanalstruktur ist.

3. Reaktor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur ein metallischer oder keramischer Träger mit Schwamm- oder Faserstruktur ist.

4. Reaktor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur durch die Reaktorwand gebildet ist.

5. Reaktor nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenstruktur des metallischen oder keramischen Trägers oder der Reaktorwand an die Dimension des Katalysatorpulvers angepaßt ist.

6. Reaktor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke des CO-Oxidationskatalysators an die CO-Eingangskonzentration angepaßt ist.

7. Reaktor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der CO-Oxidationskatalysator Pt/Al₂O₃ ist.

8. Reaktor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Pt-Cluster des Katalysator-Pulvers eine Größe im Bereich von 3 bis 10 nm aufweisen.

9. Reaktor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der CO-Oxidationskatalysator Ru/Al₂O₃ oder Pt-Zeolith ist.

10. Verwendung des Reaktors in Verbindung mit einer Brennstoffzelle, insbesondere für mobile Anwendungen.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

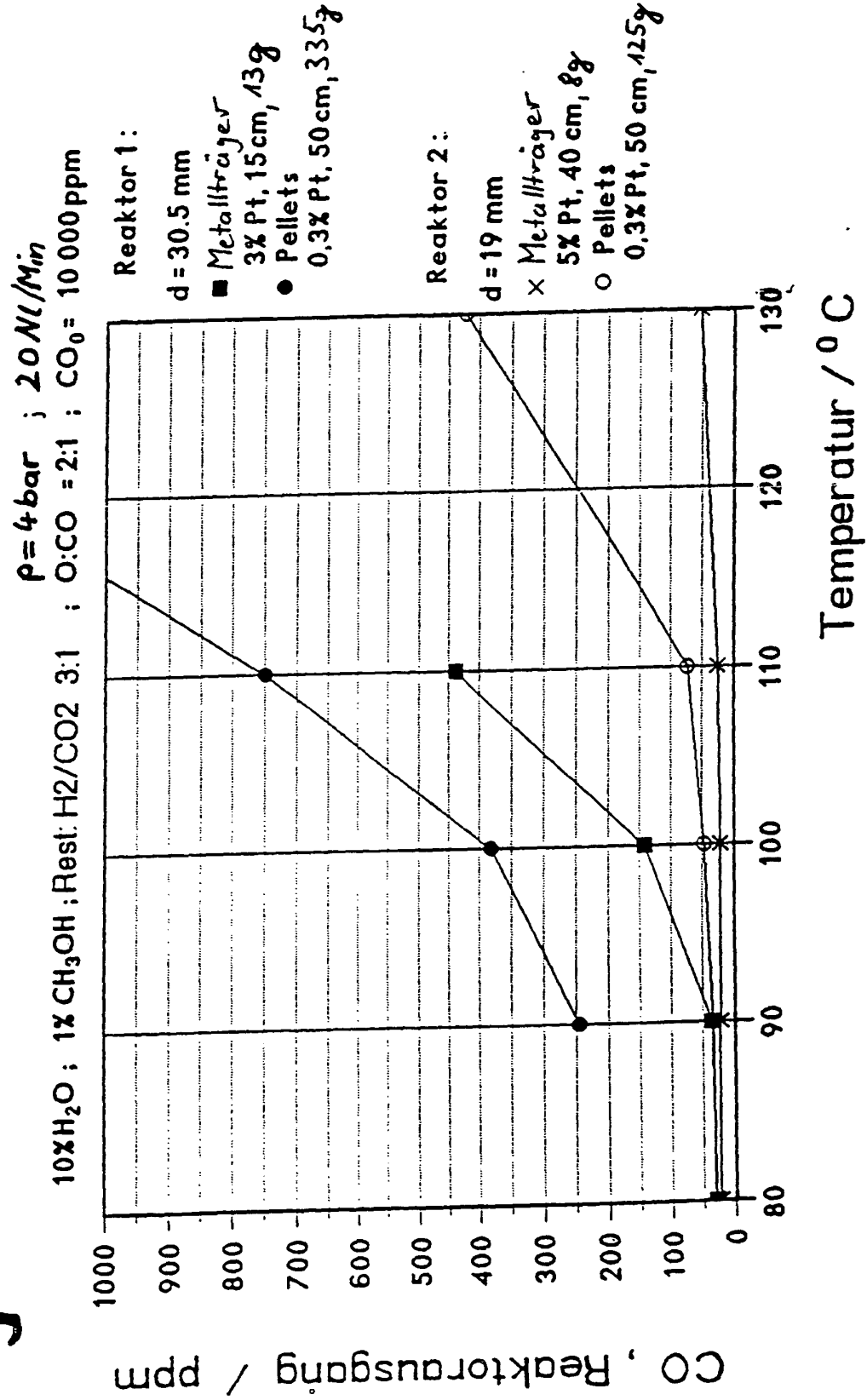


Fig. 2

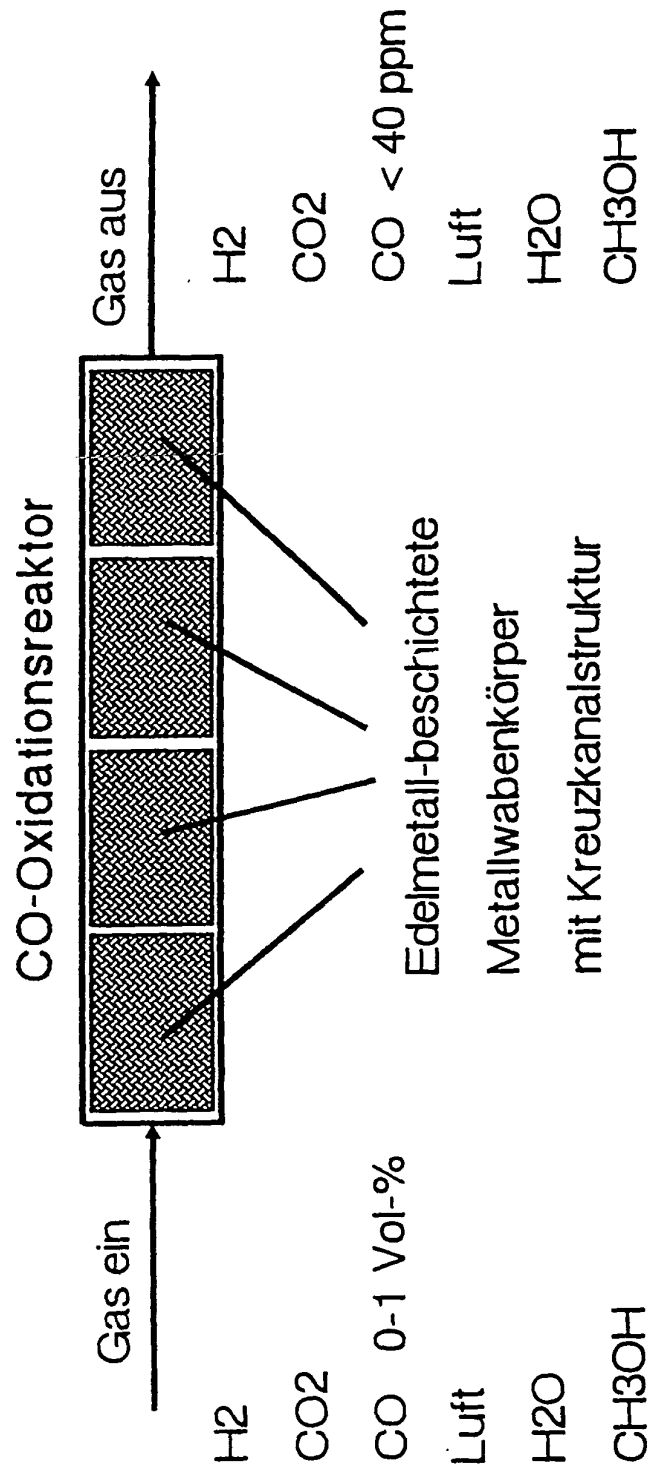


Fig. 3

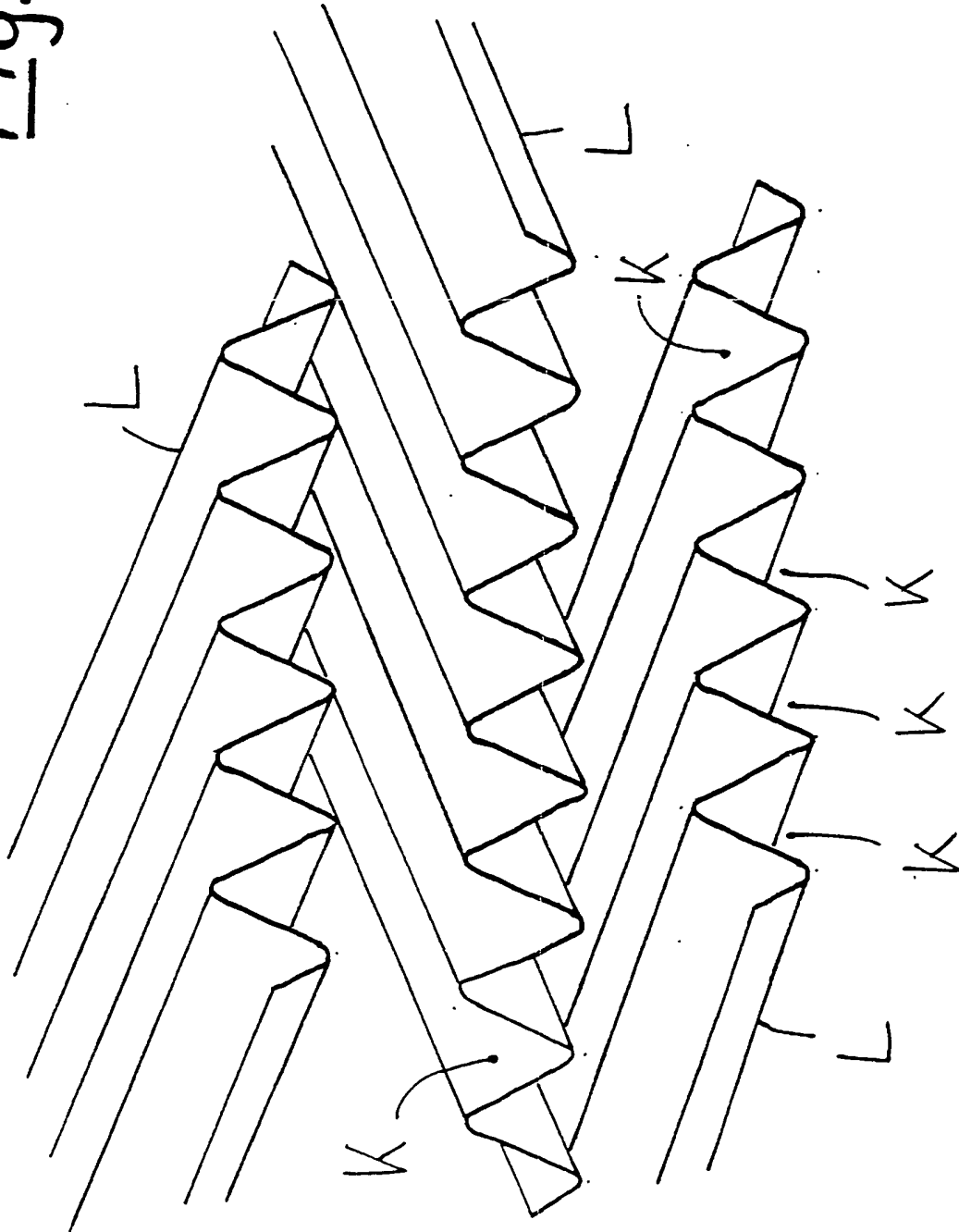
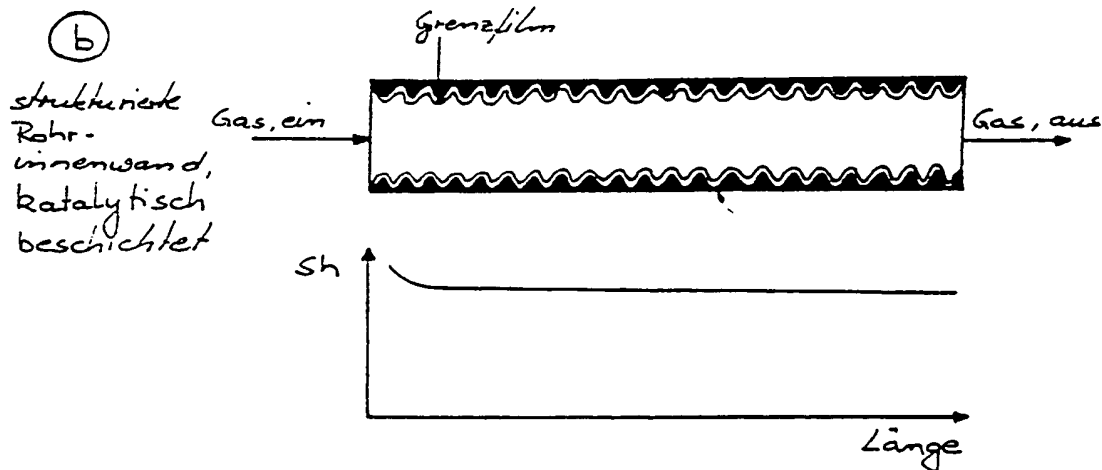
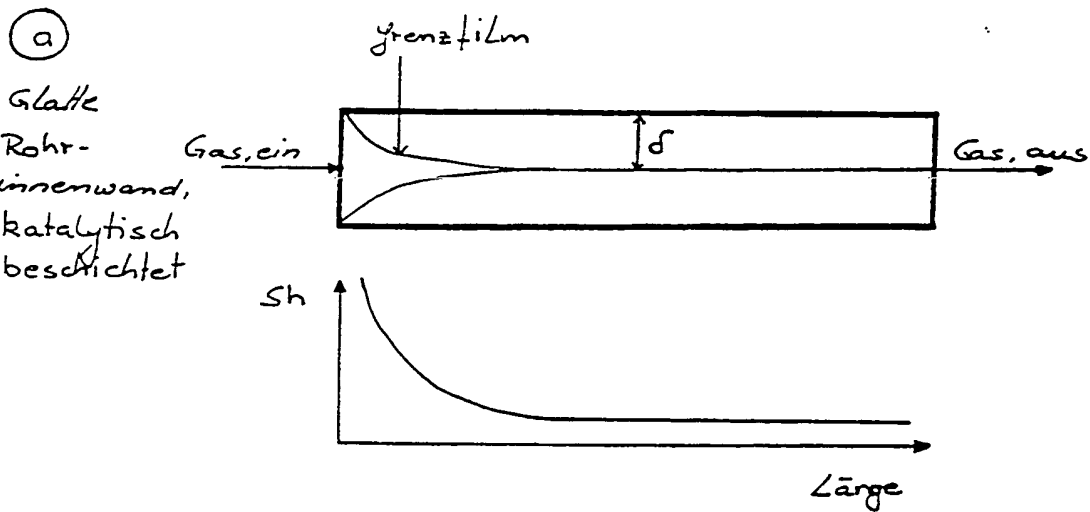


Fig. 4

Grenzschichtausbildung in Rohren mit glatter und strukturierter Rohrinnenwand und entsprechende Sherwoodzahl als Maß für den Stoffübergang



Sh = Sherwoodzahl
 δ = Grenzfilmdicke

Fig. 5
Reaktionsrohr mit strukturierter Reaktorinnenwand

